

УДК 004.048

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ АЭРОТЕНКАМИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Годецкий А.Ю., Савкова Е.О.*

*Донецкий национальный технический университет*

*Кафедра автоматизированных систем управления*

*godetskiy@gmail.com*

*В статье рассматривается концепция построения системы поддержки принятия решений для управления аэротенкам основанной на принципах нечеткого управления. На основе анализа процесса биологической очистки сточных вод выделены лингвистические переменные и разработана база правил, обеспечивающие режимы работы аэротенков.*

### **Общая постановка проблемы**

Чистая вода – это главный природный ресурс в современном мире. Сточные воды крупного города состоят из сточных вод от промышленных предприятий, бытовых вод и атмосферных остатков. Для очистки воды от загрязняющих веществ применяются очистные сооружения.

Объектом данного исследования является комплекс биологической очистки сточных вод на очистных сооружениях города Донецка. Основа метода биологической очистки – это способность микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата органические и неорганические соединения содержащиеся в сточной воде. Принцип действия современных аппаратов и сооружений основан на непрерывном культивировании микроорганизмов. В ходе процесса очистки часть веществ используется в процесса биосинтеза (образование биомассы – активного ила или биопленки), а другая часть превращается в безвредные продукты окисления (вода, углекислый газ и др.). Трудность очистки заключается в том, что удовлетворительную работу аэротенков необходимо обеспечивать при постоянно изменяющихся условиях эксплуатации (изменение состава и объема сточных вод и т.д.). Можно сделать вывод о сложности разработки системы поддержки принятия решений управления процессом очистки сточных вод аэротенками, так как возникают проблемы в получении полного определения и описания технологических режимов, неоднозначность выражения на профессиональном языке специалистов.

Целью данной работы является разработка компьютерной системы поддержки принятия решений по управлению очисткой сточных вод. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследование параметров процесса биологической очистки сточных вод аэротенками;
2. Построение системы поддержки принятия решений основанной на нечеткой логике.

### **Решение проблемы и исследование**

Очистка сточных вод от загрязняющих веществ происходит в аэротенках за счет способности микроорганизмов активного ила использовать в качестве питания органические и некоторые неорганические вещества при непосредственном контакте с загрязненной водой. Активный ил – искусственно выращиваемый биоценоз при аэрации антропогенно загрязненных вод, населенный гелепродуцирующими бактериями гетеротрофами, хемотрофами, простейшими и многоклеточными животными, которые трансформируют загрязняющие вещества и очищают сточные воды в результате биосорбции, биохимического окисления, выедания бактерий и простейших [1]. Общая схема процесса биологической очистки представлена на рис.1.

Устройства для переработки сточных вод делятся на две части – аэратор и вторичный отстойник. Аэратор – это биологический реактор который вмещает микроорганизмы, в нем происходят реакции

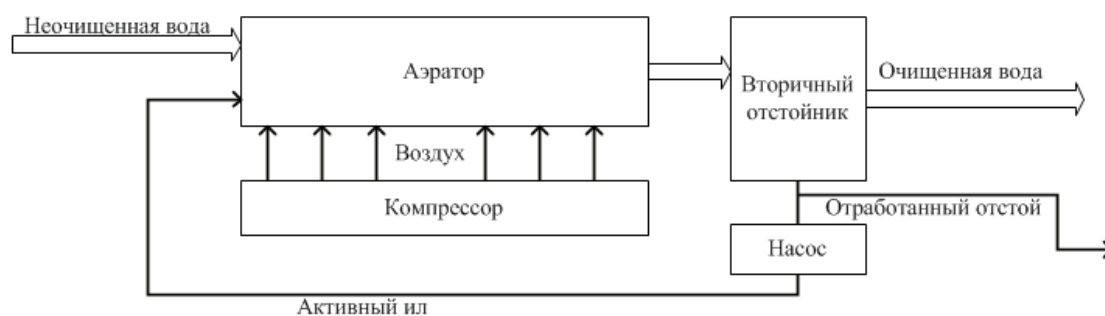


Рисунок 1. Общий вид процесса биологической очистки

со сточными водами и кислородом. Вторичный отстойник предназначен для отделения очищенной воды от активированного отстоя состоящего из живых или погибших микроорганизмов [1]. Так как процесс биологической очистки требует постоянного поддержания оптимального количества микроорганизмов в аэраторе, то часть активного после регенерации поступает обратно в него. Оставшаяся часть активного отстоя удаляется для последующего захоронения.

Проект станции очистки содержит в себе некоторые конструктивные элементы, которые позволяют регулировать качество очистки. Вопрос достаточности и эффективности их использования сводится к оптимальному принятию технологических решений.

Наиболее важными факторами, которые влияют на скорость и качество процесса биологической очистки сточных вод активным илом, являются:

- оптимальное соотношение между концентрацией загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах, и рабочей дозой активного ила по массе (при уменьшении дозы ила возникает эффект повышения нагрузки и снижения качества очистки, при увеличении дозы затрудняется эффективное разделение ила и очищенной воды во вторичных отстойниках);
- необходимое время контакта загрязненных сточных вод с активным илом;
- достаточная аэробность системы [1].

Основными контролируемыми величинами, влияющими на процесс биологической очистки сточных вод, являются:

- массовая нагрузка на ил,  $L_s$ ;
- скорость потребления кислорода активным илом,  $R_i$ ;
- седиментационная характеристика активного ила,  $I_i$ .

Основными регулируемыми величинами являются:

- расход возвратного ила,  $Q_{ил}$ ;
- расход избыточного ила,  $Q_e$ ;
- время регенерации активного ила,  $T_i$ ;

Массовая нагрузка на ил – масса загрязняющих веществ, приходящаяся на один килограмм сухого остатка активного ила в сутки [2]. За меру количества загрязнений принимают их количественные эквиваленты – биохимическое потребление кислорода (БПК), химическое потребление кислорода (ХПК). Нагрузка на ил является главной контролируемой величиной, так как ее изменение повлияет на другие контролируемые и регулируемые параметры. Для оценки массовой нагрузки на ил используется выражение:

$$L_s = \frac{s_i(Q+Q_{ил})}{s(1-Z)V} \quad (1)$$

где  $s_i$  – концентрация загрязнений во входном потоке сточных вод;  $Q$  – входной поток (расход) сточных вод;  $Q_{ил}$  – поток (расход) возвратного ила;  $s$  – концентрация загрязнений на выходе аэратора;  $Z$  – зольность ила;  $V$  – объем сточных вод.

Скорость потребления кислорода активным илом – это масса органических веществ, окисляющих 1 г беззольного вещества активного ила за 1 ч [2]. Она характеризует степень активности ила и степень его регенерации. Для устойчивой очистки необходимо обеспечить достаточную

скорость поступления кислорода к илу. Аналитически скорость потребления кислорода активным илом может быть описана следующим выражением:

$$R_i = 1,35 + 0,63 * L_s^{отн} - 0,09 * (L_s^{отн})^2 \quad (2)$$

где  $L_s^{отн}$  – относительное изменение нагрузки на ил.

Седиментационная характеристика активного ила – оценивается по индексу активного ила (объем активного ила, содержащий один грамм сухого вещества после тридцатиминутного отстаивания) [2]. Нарушение отношения между концентрацией загрязняющих веществ и рабочей дозы активного ила по массе приводит к ухудшению седиментационных свойств активного ила (способность образовывать прочные, быстро оседающие хлопья), которое влечет повышение илового индекса. Одно из основных требований к иловому индексу – стабильность его значений, которая указывает на удовлетворительные условия жизнедеятельности ила и удовлетворительный режим эксплуатации сооружений [1]. Аналитически индекс ила может быть описан следующим выражением:

$$I_i = 9,39 - 6,76 * L_s^{отн} + 1,38 * (L_s^{отн})^2 \quad (3)$$

Расход возвратного ила обеспечивает необходимое соотношение реагирующих масс активного ила и загрязнений в аэротенке, а расход избыточного ила способствует поддержанию необходимой концентрации ила в аэротенке. Количество избыточного ила определяется как разница между расходом возвратного ила и необходимой дозой ила в аэротенке. Расход возвратного ила аналитически может быть вычислен по формуле:

$$Q_v = 0,44 + 0,46 * L_s^{отн} - 0,94 * (L_s^{отн})^2 \quad (4)$$

Время регенерации активного ила. Сущность системы регенерации заключается в том, что из общего процесса окисления загрязняющих веществ на стадии регенерации ила выделяются самостоятельные процессы: процесс окисления сложноокисляемой органики и процесс полного удаления нерастворенных примесей; процесс восстановления активного ила. Поэтому регенерация требует большего времени пребывания в системе регенерации 8-18 часов по сравнению с процессом окисления загрязнений (от 2 до 6 часов).

Нечеткое управление особо эффективно, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых методов и когда поступающая входная информация интерпретируется неточно или неопределенно.

Основными этапами нечеткого вывода являются [4]:

1. Формирование базы правил системы нечеткого вывода. Где база правил – это множество лингвистических правил (правила вида ЕСЛИ-ТО с условием и заключением), где каждому подзаключению сопоставлен определенный весовой коэффициент [3].
2. Фаззификация входных переменных. Этап приведения к нечеткости. Для этого этапа фаззификации требуется разработка лингвистических переменных. Лингвистическая переменная – переменная, которая принимает значения из множества фиксированных значений (термов) [3].
3. Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Происходит определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода.
4. Активизация или композиция подзаключений. Происходит переход от условий к подзаключениям.
5. Аккумуляция заключений. Целью данного этапа является получение нечеткого множества (или их объединения) для каждой из выходных переменных.
6. Дефаззификация. На данном этапе происходит получение количественных значений для каждой из выходных лингвистических переменных.

### Определение лингвистических переменных

Исходя из анализа процесса биологической очистки сточных вод аэротенками можно выделить три входных и три выходных лингвистических переменных (таблица 1).

Таблица 1. Лингвистические переменные системы

Имя переменной	Универсум, X	Термы
<b>Входные переменные</b>		
Нагрузка на ил, $L_s$	[0; 10]	{«низкая» {0; 0.2}, «оптимальная» {0.2; 0.4}, «высокая» {0.4; 10}}
Скорость окисления, $R_i$	[0; 10]	{«низкая» {0; 0.73}, «оптимальная» {0.73; 1.13}, «высокая» {1.13; 1.81}}
Индекс ила, $I_i$	[0; 10]	{«низкий» {0; 1.39}, «оптимальный» {1.39; 4.01}, «высокий» {6.36; 10}}
<b>Выходные переменные</b>		
Время регенерации, $T_i$	[0; 24]	{«низкое» {0; 13}, «без изменений» {8; 18}, «высокое» {13; 24}}
Расход возвратного ила, $Q_r$	[0; 2]	{«уменьшить» {0; 0.806}, «без изменений» {0.44; 0.984}, «увеличить» {0.806; 2}}
Расход избыточного ила, $Q_e$	[0; 1]	{«уменьшить» {0; 0.1612}, «без изменений» {0.088; 0.1968}, «увеличить» {0.1968; 1}}

### Создание базы правил

Используя термы лингвистических переменных разработаны варианты возможных возникающих ситуаций и регулирование выходных параметров в процессе очистки сточных вод, которые сведены в таблицу 2.

По данным из таблицы 2 сделаны следующие выводы о режимах функционирования аэротенков:

- ситуация с кодом 14 является оптимальной (т.к. все контролируемые параметры находятся в оптимальном состоянии) и не требует регулировки;
- ситуации в которых нагрузка на ил остается оптимальной имеют коды 10 – 18. Поскольку нагрузка на ил является важнейшей характеристикой процесса очистки сточных вод в аэротенках, выход за интервал оптимальных значений других параметров не является критической ситуацией и можно обойтись без их регулировки;
- неблагоприятные ситуации характеризуются кодами 1–9, 19–27. Выход величины нагрузки на ил из оптимального диапазона может привести к ухудшения результата очистки и потери устойчивости процесса.

Набор нечетких правил строится на основании таблицы 2. Пример правил для ситуации с кодами:

01: ЕСЛИ  $L_s$  = «Низкая» И  $R_i$  = «Низкая» И  $I_i$  = «Низкий»  
 ТОГДА  $Q_r$  = «Низкое» И  $Q_e$  = «Увеличить» И  $T$  = «Уменьшить»  
 13: ЕСЛИ  $L_s$  = «Оптимальная» И  $R_i$  = «Оптимальная» И  $I_i$  = «Низкий»  
 ТОГДА  $Q_r$  = «Увеличить» И  $Q_e$  = «Без изменений» И  $T$  = «Без изменений»  
 21: ЕСЛИ  $L_s$  = «Высокая» И  $R_i$  = «Низкая» И  $I_i$  = «Высокий»  
 ТОГДА  $Q_r$  = «Низкое» И  $Q_e$  = «Уменьшить» И  $T$  = «Без изменений»

### Выводы

В результате проведенных исследований:

- рассмотрены принципы работы процесса биологической очистки сточных вод аэротенкам;
- исследованы основные управляющие и управляемые параметры процесса;
- разработаны лингвистические переменные и база правил, необходимые для поддержки принятия решений управления биологической очисткой сточных вод.

Таблица 2. Варианты возможных возникающих ситуаций и реакций на них.

Код ситуации	$L_s$	$R_l$	$I_l$	$T_l$	$Q_r$	$Q_e$
01	Н	Н	Н	Низкое	Увеличить	Увеличить
02	Н	Н	О	Низкое	Увеличить	Увеличить
03	Н	Н	В	Низкое	Увеличить	Без изменений
04	Н	О	Н	Без изменений	Увеличить	Увеличить
05	Н	О	О	Высокое	Без изменений	Без изменений
06	Н	О	В	Без изменений	Увеличить	Без изменений
07	Н	В	Н	Высокое	Увеличить	Без изменений
08	Н	В	О	Высокое	Увеличить	Без изменений
09	Н	В	В	Высокое	Увеличить	Без изменений
10	О	Н	Н	Низкое	Уменьшить	Без изменений
11	О	Н	О	Низкое	Без изменений	Без изменений
12	О	Н	В	Низкое	Увеличить	Без изменений
13	О	О	Н	Низкое	Без изменений	Без изменений
14	О	О	О	Данный режим корректировок не требует		
15	О	О	В	Без изменений	Увеличить	Без изменений
16	О	В	Н	Высокое	Уменьшить	Без изменений
17	О	В	О	Высокое	Без изменений	Без изменений
18	О	В	В	Высокое	Увеличить	Без изменений
19	В	Н	Н	Низкое	Уменьшить	Без изменений
20	В	Н	О	Низкое	Уменьшить	Без изменений
21	В	Н	В	Низкое	Уменьшить	Без изменений
22	В	О	Н	Без изменений	Уменьшить	Без изменений
23	В	О	О	Без изменений	Уменьшить	Без изменений
24	В	О	В	Без изменений	Уменьшить	Без изменений
25	В	В	Н	Высокое	Уменьшить	Без изменений
26	В	В	О	Высокое	Уменьшить	Без изменений
27	В	В	В	Высокое	Уменьшить	Без изменений

Примечания.

Н - Низкая(кий), О - Оптимальная(ный), В - Высокая(кий)

### Литература

- [1] Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
- [2] ГОСТ 25152-82 Канализация. Термины и определения
- [3] Леоненко А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
- [4] Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.